

学校编码: 10384

分类号 \_\_\_\_\_ 密级 \_\_\_\_\_

学号: 25320111151724

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

# 新型伸臂加强层阻尼体系的风振控制研究

The Research on Wind-induced Vibration Control of a  
New Damped Outrigger System

范 惠 能

指导教师姓名: 张建霖 教授

张建国 副教授

专 业 名 称: 结构工程

论文提交日期: 2014 年 4 月

论文答辩时间: 2014 年 5 月

学位授予日期: 2014 年 6 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2014 年 4 月

# 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年    月

## 摘 要

随着建筑物高度的增加, 建筑结构的刚度和阻尼变得越来越小, 导致结构地震和风振效应愈加明显。传统的结构设计通过设置加强层等增加结构侧向刚度的方法来抵御地震荷载及风荷载, 但同时引起了结构刚度和内力的突变, 并易形成薄弱层。因此, 通过附加控制装置来减小水平荷载引起的结构响应已成为高层建筑发展的重要方向。加强层阻尼体系作为一种新型的耗能减振系统, 将加强层与外框架柱断开, 利用两者之间较大的位移差来布设粘滞阻尼器, 具有非常好的减振效果。本文在前人研究的基础上, 提出了伸臂加强层阻尼体系的新的简化模型, 从振动控制和加强层两个方面对其风振控制效果进行了研究, 并提出其位置优化的实用算法。主要完成了以下工作:

首先, 本文考虑周边框架对核心筒的约束作用, 将核心筒简化为底部固支的铁木辛柯梁, 并推导出该控制系统的运动学方程。通过模型参数分析, 初步了解了这一新型减振体系的主要特性, 并对带单个伸臂加强层阻尼体系的某高层建筑风振控制效果进行了数值仿真分析。算例表明, 加强层阻尼体系在结构风振控制中取得了非常好的控制效果。

其次, 将加强层阻尼体系的风振控制效果与传统加强层结构的控制效果进行对比探讨, 得出了一些有意义的结论。根据两种体系在风振控制中的特性, 基于“有限刚度”加强层理论, 提出了带多个加强层与加强层阻尼体系的抗风结构。数值分析表明, 当结构整体刚度不足时, 带多个加强层与加强层阻尼体系可以在风振控制中获得更加良好的表现。

最后, 基于结构拓扑优化理论, 根据加强层和阻尼器位置优化的一些理论, 并结合加强层阻尼体系的特性, 提出了多个传统加强层与加强层阻尼体系的位置优化实用算法。算例分析表明, 相对于逐步逼近法得到的最优布置, 该算法不仅简单实用, 而且可以和最优布置获得几乎一样好的控制效果。

**关键词:** 加强层阻尼体系; 加强层; 位置优化

## ABSTRACT

With the increase of building height, the stiffness and damping of structure is declining, generating obvious seismic response and wind-induced vibration. The traditional structure design resists seismic load or wind load by increasing lateral stiffness of the structure such as setting outrigger. But it can easily generate weakness story due to the mutation of structural stiffness and internal forces. Therefore, auxiliary control device become popular in the vibration control of high-rise building. As a new energy dissipation system, the damped outrigger system separates the outrigger and perimeter columns and inserts viscous dampers across this structural discontinuity to make full use of the relative big displacement of these two components. Based on previous studies, a new simplified model for damped outrigger system is put forward, then its control effect under external wind loads is studied under both concepts of control device and strengthened story, and a practical method of optimal damper placement is given at last. Following is the main content of this paper:

Firstly, considered the restraint of frame on core tube, the core tube is simplified as a Timoshenko beam with one end fixed and dynamic model of the energy dissipation system is established. The main characteristics of the new control system are initially obtained through model parameters analysis, then the control effect of a high-rise building with a damped outrigger system under external wind loads are verified through numerical simulation. The numerical result turns out that the damped outrigger system has a significant effect on structural wind-induced vibration control.

Secondly, compare the control effect of damped outrigger under external wind loads with the effect of strengthened story, and some meaningful conclusions can be achieved. Based on the characteristics of the two wind-induced vibration control systems and the theory of strengthened story, wind-resistant structure with multiple strengthened stories and damped outrigger systems is presented. The numerical analysis indicates that structure with multiple strengthened stories and damped

outrigger systems behaves very well if the whole rigidity of the structure is not enough.

Finally, based on the theory of structural topology optimization and the characteristics of damped outrigger system, a practical method of position optimization of structure with multiple strengthened stories and damped outrigger systems is put forward. Numerical example shows that, compared with the optimal solution of successive approximation, the method proposed in this chapter produces control effect almost as good as the optimal solution except for simple and practical.

**Key Words:** damped outrigger system; strengthened story; position optimization

# 目 录

<b>摘 要</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>II</b>
<b>第一章 绪 论</b> .....	<b>1</b>
1.1 引言 .....	1
1.2 结构风振控制的概述 .....	2
1.2.1 结构振动控制概念.....	2
1.2.2 结构风振控制原理.....	4
1.2.3 高层建筑风振控制的发展运用.....	6
1.3 新型伸臂加强层阻尼体系的提出及研究现状 .....	7
1.3.1 加强层的作用及存在问题.....	7
1.3.2 新型加强层阻尼体系的提出及研究现状.....	9
1.4 本论文主要研究内容 .....	12
1.4.1 本文研究背景及问题提出.....	12
1.4.2 本文主要研究内容.....	13
<b>第二章 风荷载基本理论及结构抗风要求</b> .....	<b>15</b>
2.1 风荷载基本理论 .....	15
2.1.1 风荷载概述.....	15
2.1.2 风荷载基本理论发展.....	16
2.1.3 高层建筑风荷载的试验方法.....	17
2.2 结构抗风要求 .....	18
2.2.1 风对建筑结构作用.....	18
2.2.2 结构抗风设计要求.....	19
2.2.3 结构风振控制的性能要求.....	21
<b>第三章 结构风振控制分析方法</b> .....	<b>22</b>
3.1 结构分析模型 .....	22
3.1.1 普通结构分析模型.....	22
3.1.2 风振控制结构分析模型.....	23
3.2 阻尼器风振控制结构的分析 .....	25
3.2.1 阻尼器风振控制原理.....	25
3.2.2 时域分析法.....	27
3.3 结构拓扑优化 .....	30
<b>第四章 带单个伸臂加强层阻尼体系结构的风振分析</b> .....	<b>32</b>
4.1 建筑模型及风荷载 .....	32
4.1.1 建筑模型.....	32

4.1.2 风荷载.....	35
4.2 简化模型及动力学方程推导 .....	37
4.3 模型参数分析 .....	41
4.4 结构风振分析 .....	45
4.5 本章小结 .....	51
<b>第五章 带多个加强层与加强层阻尼体系结构的风振分析 .....</b>	<b>52</b>
5.1 建筑模型及风荷载 .....	52
5.1.1 建筑模型.....	52
5.1.2 风荷载.....	54
5.2 三种结构体系的风振分析 .....	56
5.2.1 带加强层结构的风振分析.....	56
5.2.2 带加强层阻尼体系结构的风振分析.....	61
5.2.3 带多个加强层和加强层阻尼体系结构的风振分析.....	64
5.3 本章小结 .....	70
<b>第六章 风振控制结构的优化设计 .....</b>	<b>72</b>
6.1 加强层与加强层阻尼体系的位置优化设计 .....	72
6.1.1 加强层的优化设计.....	72
6.1.2 阻尼器的优化设计.....	73
6.1.3 加强层与加强层阻尼体系的优化设计.....	74
6.2 算例 .....	76
6.3 本章小结 .....	83
<b>第七章 论文总结与展望 .....</b>	<b>85</b>
7.1 论文总结 .....	85
7.2 展望 .....	86
<b>参考文献 .....</b>	<b>88</b>
<b>致谢 .....</b>	<b>93</b>
<b>攻读硕士学位期间发表论文目录 .....</b>	<b>94</b>



# CONTENTS

<b>Abstract in Chinese.....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract in English .....</b>	<b>II</b>
<b>Chapter 1 Preface .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Summary of wind-induced vibration control.....</b>	<b>2</b>
1.2.1 Overview of vibration control.....	2
1.2.2 Principle of wind-induced vibration control .....	4
1.2.3 Development of wind-induced vibration control.....	6
<b>1.3 Development of the damped outriger system .....</b>	<b>7</b>
1.3.1 Overview of strengthened story .....	7
1.3.2 Development of the damped outriger system .....	9
<b>1.4 Background and objective of the paper .....</b>	<b>12</b>
1.4.1 Background of the paper .....	12
1.4.2 Objective of the papaer .....	13
<b>Chapter 2 Basic concepts of wind load &amp; the wind-resisant design</b>	
<b>of structures .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Basic concepts of wind load.....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Overview of wind load.....	15
2.1.2 Development of wind theory .....	16
2.1.3 Experimental method of wind load of high-rise buildings .....	17
<b>2.2 The wind-resisant design of structures .....</b>	<b>18</b>
2.2.1 Wind effects on buildings .....	18
2.2.2 The wind-resisant design requirements of structures.....	19
2.2.3 Performance requirements of structural wind-induced vibration control	21
<b>Chapter 3 Analysis method of wind-induced vibration control.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Structural analysis model.....</b>	<b>22</b>
3.1.1 Analysis model of ordinary structure.....	22
3.1.2 Analysis model of wind-induced vibration controlled structure.....	23
<b>3.2 Analysis of wind-induced vibration controlled structure with damper ...</b>	<b>25</b>
3.2.1 Principle of wind-induced vibration controlled structure with damper	25
3.2.2 Time domain analysis .....	27
<b>3.3 Structure topology optimization .....</b>	<b>30</b>
<b>Chapter 4 Wind-induced vibration analysis of single damped</b>	

<b>outrigger system .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Architecture model &amp; wind load.....</b>	<b>32</b>
4.1.1 Architecture model.....	32
4.1.2 Wind load .....	35
<b>4.2 Simplified model and corresponding kinetic equation .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3 Analysis of model parameters .....</b>	<b>41</b>
<b>4.4 Wind-induced vibration analysis of structure.....</b>	<b>45</b>
<b>4.5 Conclusions .....</b>	<b>51</b>
<b>Chapter 5 Wind-induced vibration analysis of structure with</b>	
<b>multiple strengthened stories and damped outrigger systems .....</b>	<b>52</b>
<b>5.1 Architecture model &amp; wind load.....</b>	<b>52</b>
5.1.1 Architecture model.....	52
5.1.2 Wind load .....	54
<b>5.2 Wind-induced vibration analysis of three structure systems .....</b>	<b>56</b>
5.2.1 Analysis of structure with multiple strengthened stories .....	56
5.2.2 Analysis of structure with multiple strengthened stories .....	61
5.2.3 Analysis of structure with multiple strengthened stories and damped	
outrigger systems .....	64
<b>5.3 Conclusions .....</b>	<b>70</b>
<b>Chapter 6 Optimal design of wind-induced vibration controlled</b>	
<b>structure.....</b>	<b>72</b>
<b>6.1 Position optimization of strengthened stories and damped outrigger</b>	
<b>systems .....</b>	<b>72</b>
6.1.1 Optimal design of strengthened stories .....	72
6.1.2 Optimal design of dampers .....	73
6.1.3 Optimal design of strengthened stories and damped outrigger systems	74
<b>6.2 Numerical example .....</b>	<b>76</b>
<b>6.3 Conclusions.....</b>	<b>83</b>
<b>Chapter 7 Conclusions and important issues for further study .....</b>	<b>85</b>
<b>7.1 Conclusions of the paper .....</b>	<b>85</b>
<b>7.2 Important issues for further study .....</b>	<b>86</b>
<b>References .....</b>	<b>88</b>
<b>Acknowledgements .....</b>	<b>93</b>
<b>List of published or accepted papers .....</b>	<b>94</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 引言

风是空气相对于地面的运动,当风速和风力超过一定限度时,它将给人类带来巨大灾害。我国和世界上的其他很多国家每年都会受到各种强风作用的影响,这不仅体现在巨大的人员伤亡和财产损失上,而且还体现在对建筑造成的损失和破坏上。建筑物承受的风荷载是与地震荷载明显不同,它是结构上真实承受的荷载<sup>[1]</sup>,与建筑结构自身的外形与高度相关。风的作用虽然没有地震作用那么强烈,但是由于其作用频繁,持续时间长,风灾对建筑的破坏和带来的损失要远大于地震灾害。

据不完全统计,风灾带来的损失占有自然灾害损失的约一半左右,并且随着生产建设的发展,与其他自然灾害一样,风灾造成的损失都在逐年递增<sup>[2]</sup>。2005年的世纪飓风“卡特里娜”重创美国,在墨西哥湾沿岸形成10米高的风暴潮,导致上千人死亡,百万人流离失所,经济损失超过1000亿美元。2013年超强台风“海燕”重创菲律宾,造成六千多人死亡,两万七千多人受伤,四百万人无家可归,经济损失达8亿美元。我国的风致灾害也呈多发态势,每年平均登陆的台风次数约为10个,造成的直接经济损失达百亿元。

随着新的轻质高强建筑材料的应用和工程技术的不断发展,以及人们对建筑物功能要求的不断提高,高层建筑的层数一直增加,高度也随之攀升。这些建筑物的刚度和阻尼也随着新技术、新材料的发展不断降低,容易发生风致振动或变形,属于风敏感建筑。在顺风向和横风向的耦合风荷载激励下,结构的风荷载作用效应更为明显,这些轻则影响人们正常生产生活的舒适性要求,重则造成结构的严重损伤或破坏。

传统的结构抗风设计是通过提高结构自身的强度和刚度来抵御风荷载,如增强结构材料强度,增加结构截面面积,具有较强的变形能力等。在很多情况下,这种传统设计方法是有效的,但仍然存在较大的局限性。它在某些程度上限制了建筑功能的发展,增加了结构的工程造价,并最终使得实际工程难以承受。随着轻质高强材料的使用和建筑高度的增加,使用传统抗风设计方法显然既不经济也

不合理。因此,寻找一种能满足建筑功能需要,又经济可行的结构抗风设计方法已经迫在眉睫。目前,结构振动控制技术作为一种经济可行的新技术,能调整结构的动力作用的途径或改变结构动力特性,减小结构的动力响应,有效地保证了结构在强风中的安全性以及正常风荷载作用下的舒适度,已经成为结构抗风设计的一个新趋势。

## 1.2 结构风振控制的概述

### 1.2.1 结构振动控制概念

结构振动控制是研究控制结构反应(位移、速度或加速度)的设计理论和运用技术,它是通过设置控制装置于结构来达到减轻或抑制结构动力响应的目的。结构振动控制技术最早起源于船舶和机械等工业领域,随后又广泛应用于运输工程和航空航天中。相对于结构振动控制技术在其他领域的应用而言,其在土木工程领域的应用较晚,只有近 50 年的历史。1972 年,美籍华裔学者姚治平首次系统地提出土木工程的结构控制概念后,振动控制的理论与工程应用越来越得到人们的关注和重视。目前振动控制已成为结构工程领域最具前沿性的发展方向之一,并已在世界各国的高层建筑、大跨结构、长大桥梁等柔性工程结构的抗风抗震设计与加固工程中得到应用<sup>[3]</sup>。

相对于传统结构设计利用结构本身强度和刚度来抵御横向荷载,结构振动控制技术作为一种全新而积极主动的方法,通过应用结构控制的一些理论,显著提升了结构的承载能力,减小了结构的重量,从而确保了结构的安全性、使用性及人的舒适性要求,是结构设计思想的一次变革与飞跃。近 30 年的研究表明:结构振动控制技术在减轻结构由动荷载作用引起的反应和损伤方面能取得显著效果,是一种积极有效的防风抗灾手段。

结构控制一般可分为被动控制、主动控制、半主动控制、混合控制以及智能控制<sup>[2]</sup>,如图 1.1 所示。

被动控制指在结构的某些部位附加耗能装置或对结构某些构件做构造上的处理来减轻结构本身的动力响应。被动控制产生控制力时不需要外界系统提供能量,控制过程不依赖于结构反应,使得其控制效果不受外界因素干扰。同时,它还具有可靠性好、构造简单、造价低廉、易于维护等诸多优点,受到工程界的普

遍青睐，在目前工程实际中应用最为广泛。

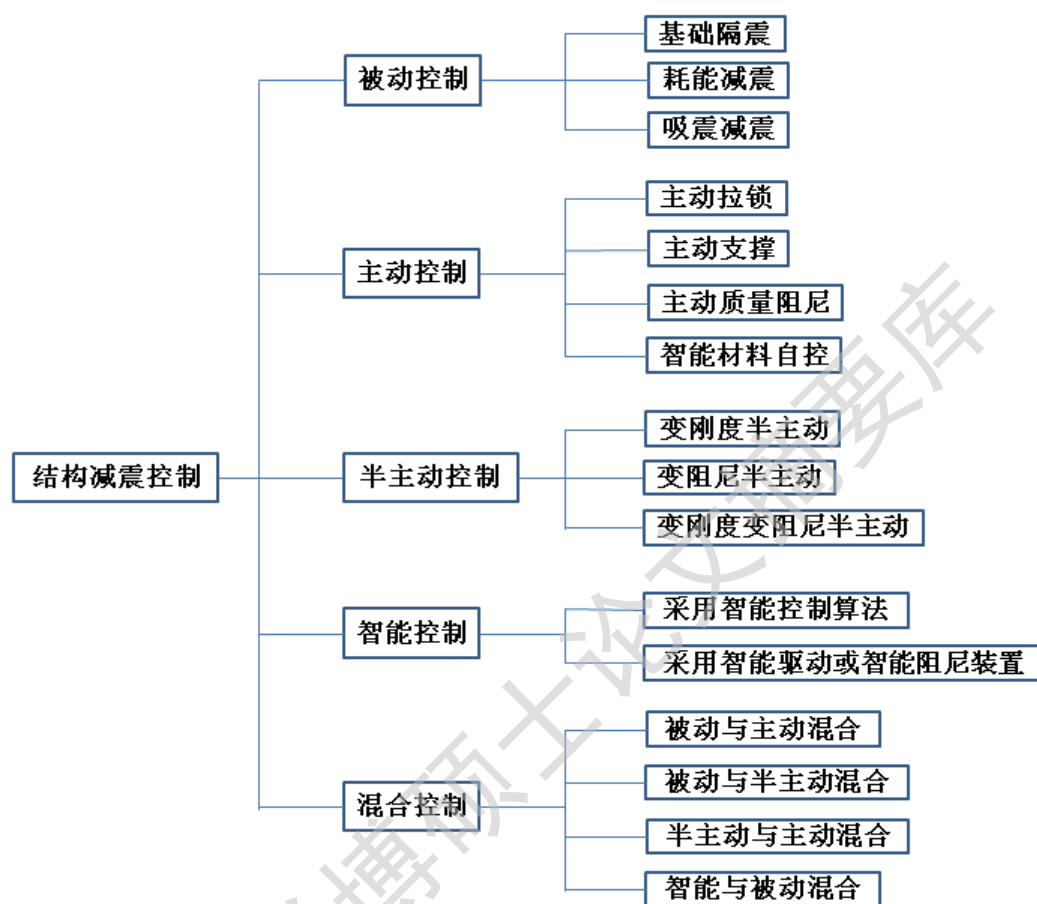


图 1.1 结构振动控制分类

(图片来源:周云. 结构风振控制的设计方法与应用, 2009)

主动控制指利用现代控制技术,对结构外部输入激励和结构动力响应实时监测,然后根据控制目标计算出相应反馈的控制力,通过作动器将主动控制力施加到结构某些部位,从而将结构动力响应控制在预期范围之内。主动控制具有良好的振动控制效果,目前已进入大量的理论研究和少数的工程应用阶段。但是,主动控制由于其控制系统复杂、造价昂贵、需要大量的外部能量输入,受外界因素干扰较大,仍有许多问题需要进一步研究解决。目前比较常用的主动控制系统有主动质量阻尼器 (AMD)、主动拉索系统 (ATS) 和主动支撑系统 (ABS) 等。

半主动控制指在被动控制的基础上,利用控制装置并结合结构响应来主动调节控制系统自身的参数,改变被动控制系统的工作状态,尽可能地实现主动最优

控制力,因此半主动控制也称为可变的被动控制。相比于主动控制,半主动控制不仅拥有被动控制系统的构造简单、造价低廉、易于维护等优点,还增加了主动控制系统的强适应性。由于半主动控制系统的控制机构是调节控制装置自身的参数,不需要直接给结构施加控制力,因而半主动控制需要的外界能量输入较小,具有较好的工程应用前景。

智能控制指采用智能控制算法或智能驱动/智能阻尼装置来修正动力荷载作用下承载力和刚度退化后的结构模型,以保证结构最佳控制状态。智能结构是世界各国振动控制研究的最新领域,由于智能材料驱动器和智能可调质量阻尼器具有调节驱动容易、构造简单、耗能低、反应快、时滞小等优点,因此具有广泛的工程应用前景。

混合控制联合了主动控制或半主动控制、智能控制和被动控制,使其协调工作。混合控制系统不仅能充分发挥被动控制系统的优点大量耗散振动能量,还能利用主动控制系统保证控制效果,减少了大量的能量输入,因而工程应用前景广泛。

在上述几种控制技术中,被动控制不需要外部输入能量,其分析原理和设计方法较为完善,且具有可靠性好、构造简单、造价低廉、易于维护等诸多优点,已逐步纳入有关的设计规范和指南中,形成了较为成熟的被动减振技术。其余几种减振控制技术也已经进入大量理论研究阶段和少量的工程应用中,但由于目前技术的局限性,在实际工程应用上仍有许多问题需进一步研究论证。

### 1.2.2 结构风振控制原理

传统的结构抗风设计抵御风荷载作用是靠增强结构本身的性能来实现的,这是一种“硬碰硬”式的风振控制方法,既不安全,也不经济。由于强风作用具有很大的随机性,按传统抗风设计方法设计的结构通常都不具备风振调节能力,导致结构不能满足设计要求。这轻则影响使用者的舒适感,造成生活质量或生产效率降低,重则威胁生命财产的安全,造成结构破坏,导致重大的人员伤亡和经济损失。

通过对结构施加控制装置,使其与结构共同承担外界强风荷载的作用,即两者共同储存和耗散风振能量,以调谐和减轻结构的风振反应<sup>[4~7]</sup>,是一种更加合理有效的抗风途径。被动控制(如安装粘滞/粘弹性阻尼器、TMD、TLD)、主动控

制和智能控制等风振控制措施一般被用来减小结构风振响应,以满足结构的安全性和舒适度要求。

结构风振控制的原理是在结构某些部位安装一些控制装置,主动或被动地对发生风振反应的结构施加一组控制力,最终达到减小结构风振反应的目的。风荷载作用下结构的运动学方程可表示为<sup>[8]</sup>

$$[M]\{\ddot{X}\}+[C]\{\dot{X}\}+[K]\{X\}=\{P(t)\}-[H]\{U(t)\} \quad (1.1)$$

式中:  $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ 分别为离散后主结构的质量、阻尼和刚度矩阵;  $\{X\}$ 、 $\{\dot{X}\}$ 、 $\{\ddot{X}\}$ 分别为结构各质点的位移、速度和加速度列向量;  $\{P(t)\}$ 为结构上的动力风荷载列向量;  $\{U(t)\}$ 为控制装置产生的  $L \times 1$  阶控制力列向量,  $L$  为控制力数量;  $[H]$ 为控制力作用的位置矩阵。

当风振控制采用主动控制时,需要外部能源输入来产生控制力。此时,应当根据结构响应就计算出响应的最优控制力  $\{U(t)\}$  并施加于主结构,以使结构的风振反应满足要求。若风振控制为被动控制,控制装置将随着主结构一起振动,并由此产生了对主结构的控制力  $\{U(t)\}$ 。该控制力在结构风振运动中被动产生,是关于控制装置自身参数、结构位移和速度反应的函数。此时,应当根据结构动力特性合理地选择控制装置的参数,使得装置产生的控制力能将结构的风振反应控制在预期范围内。若风振控制为半主动控制,控制力也将由控制装置随主结构振动而被动产生,但此时的控制力具有可调性,这时应当选择合理的控制力函数,使得结构的风振反应满足设计要求。

高层建筑的结构风振反应通常发生在线弹性范围内,且一般以第一振型为主,即使是少数高柔高耸结构,考虑前三个振型的结构风振反应也已经足够了<sup>[9]</sup>。在高层建筑的风振计算中,通常采用振型叠加法。因此,风振控制设计也可以近似地采用结构本身的振型向量,对运动控制方程进行分解,将一个具有较高自由度的结构控制方程化为只有较少自由度的振型控制方程,从而大大减少计算工作量。若某振型在结构反应中其关键作用,则该振型的控制方程仍可看成是整个结构反应的控制方程。

### 1.2.3 高层建筑风振控制的发展运用

控制装置在风振控制体系中仅发挥耗能减振作用,而不是承担结构竖向作用的承重构件。因此,风振控制装置既不影响主体结构的竖向受力体系,也不受结构类型、形状、层数、高度等条件的限制,具有广阔的应用前景。通常来讲,结构越高、越柔,风载越大,结构振动越激烈,控制效果将越显著。

当前,结构风振控制技术在世界上许多高层、高耸结构中已被采用,特别是被动控制减振技术,以其众多的优点及成熟的技术,在实际工程中得到广泛应用。较早应用被动耗能阻尼器是 1969 年的美国世界贸易中心双塔,在双塔的每个塔楼中安装了 10000 个粘弹性阻尼器,用来减小风振响应,采用了 3M 公司生产的钢板橡胶叠层装置的粘弹性阻尼器。阻尼器从第 10 层到第 100 层均匀分布于结构中,所有阻尼器均设置于水平桁架下弦与外墙柱之间。在其设计使用年限内,塔楼遭遇了多次中等及强风暴袭击,粘弹性阻尼器获得预期的控制效果。在 1978 年的飓风罗莉亚之后,测算了结构的总阻尼比,结果发现结构总阻尼处于临界值 2.5%-3%内,同时还发现粘弹性阻尼器的抗老化特性非常好。除了阻尼器外,被动控制还广泛采用 TMD 减震系统。Davorin Hrorat 等人对被动和半主动的 TMD 对高层结构的控制进行了研究,尔后不少人开始将此应用于具体的高层建筑和高耸结构的风振控制中<sup>[10]</sup>。美国的 William Le Messurier 采用了半主动的 TMD 来减小两栋高层建筑的风振反应。一栋是美国波士顿的 60 层 John Hancock 大楼,重达 300 吨的 TMD 减轻了大楼的风振摇摆,避免了玻璃幕墙的掉落;另一栋是美国纽约的 Citicorp 大楼,重达 400 吨的 TMD 减轻了结构的风振反应,缓解了大风时居民的不舒适感。而最为人所熟知的,当属台北 101 大厦的世界最大的被动式调谐质量阻尼器 (Tuned Mass Damper),此即有名的 800 吨大钢球,用钢缆从 92 层吊到 88 层楼高度,此球平时用以抵消风力对大楼产生的摇晃,放任其些微摇晃;而当台风来袭或发生剧烈地震时,它能减轻大楼的摇晃程度。

与被动控制技术相比,主动控制、半主动控制技术还很不成熟,实际工程应用也比较有限,但其以严密的科学理论、优良的振动控制效果、更宽广的适应范围和可灵活选择的控制目标以及多学科交叉与高新技术融合的特征吸引了国内外众多科技学者的研究和兴趣,也因此加快了其从理论研究走向工程应用的步伐。由主动质量阻尼器 (AMD) 和主动调谐质量阻尼器 (HMD) 组成的主动控制系



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库